

**На правах рукописи**

**Эльназаров Сангин Абдумамадович**

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС  
КУХИЛАЛСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШПИНЕЛИ  
(ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)**

**Специальность 25.00.05 – минералогия, кристаллография**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Казань -2014**

Работа выполнена в лаборатории института геологии, сейсмического строительства и сейсмологии Академии Наук Республики Таджикистан

Научный руководитель

**Файзиев Абдулхак Раджабович**

академик ЕАЕН, член-корреспондент АН Республики Таджикистан, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты

**Лопатин Олег Николаевич**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедры минералогии и литологии ИГиНГТ Казанского федерального университета

**Юргенсон Георгий Александрович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

Ведущая организация

Томский государственный университет

Защита состоится «19» марта 2015 г. в 14.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.09 в Казанском (Приволжском) федеральном Университете по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, КФУ, Институт геологии и нефтегазовых технологий, ауд. 211.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке имени Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального университета.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью организации, просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18, КФУ, отдел аттестации научно-педагогических кадров.  
Факс: (843) 233-78-67.

Автореферат разослан «    » декабря 2014 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.081.09

А.А. Галеев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** На постсоветском пространстве месторождение Кухилал являлся единственным объектом ювелирной шпинели, которая относится к числу драгоценных камней первого класса. Оно известно с давних времен и разрабатывается по настоящее время. Добываемая здесь шпинель обладает высоким качеством и рыночным спросом. Однако, несмотря на давнюю известность, месторождение изучено недостаточно. Настоящая работа в какой-то степени восполняет этот пробел и посвящена всестороннему исследованию минералого-кристалломорфологических, термобарогеохимических и генетических особенностей месторождения. Это необходимо не только для расширения перспективы данного объекта, но и поисков новых проявлений ювелирной шпинели в регионе.

**Цели и задачи работы.** Основной целью работы является изучение минералого-генетических особенностей месторождения. При выполнении работы решались следующие конкретные задачи:

- детальная минералогическая характеристика объекта;
- кристалломорфологическое изучение реальных форм ювелирной шпинели;
- определение термобарогеохимических параметров образования основных минералов месторождения;
- выявление генетических особенностей минеральных комплексов месторождения.
- геммологическая характеристика ювелирной шпинели, клиногумита и прозрачного форстерита;

**Научная новизна.** Впервые осуществлена детальная минералогическая характеристика месторождения. При кристалломорфологических исследованиях шпинели среди комбинационных форм кристаллов впервые обнаружены грани тригонтриоктаэдра  $\{211\}$ . Получены новые данные по термобарогеохимическим параметрам образования некоторых минералов и всего месторождения в целом. Выявлены кристаллофлюидные включения в кальците, гомогенизирующиеся в газовую фазу. Показана возможность использования бесцветного прозрачного форстерита месторождения Кухилал в качестве ювелирно-поделочного сырья.

**Практическая значимость.** Выявлено, что основными источниками ювелирной шпинели (и клиногумита) являются так называемые магалы - необычные образования мелоподобных рыхлых агрегатов, состоящих из тонких концентрических зон хлорита, манассеита, гидроталькита, серпентина и брусита. Установлено, что шпинелевая минерализация на месторождении связана со скарнами преимущественно форстеритового состава. Отмеченные особенности можно использовать в качестве критериев при поисках и перспективной оценке новых проявлений шпинелевой минерализации. Предлагается также, что кроме шпинели и клиногумита на месторождении практический интерес могут представлять магнезиально-силикатное и магнезиально-карбонатное сырье, графит и поделочный серпентин.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава и рабочих совещаниях Ученого совета естественно-научного факультета Хорогского Государственного Университета (ХоГУ) имени М. Назаршоева (2008 - 2012гг.), 3 - ей Азиатской конференции по флюидным включениям (ACROFI III) и 14 - ой международной конференции по термобарогеохимии (TBG) (Новосибирск, 2010г.), Всероссийском минералогическом семинар (Сыктывкар, 2010г.), 4<sup>th</sup> Biennial Conference on Asian Current Research on Fluid inclusions ACROFI IV (Brisbane, Australia, 2012), Минералогическом семинар «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения)» (Сыктывкар, 2013г.), международная конференции «Памир: актуальные проблемы научно-технического развития» (г. Хорог, 2013г.).

**Фактический материал и методы исследований.** В основу работы положены результаты полевых работ, проведённых автором диссертации на месторождении ювелирной шпинели Кухилал и лабораторных исследований автора, полученных во время учебы в заочной аспирантуре в Институте геологии Академии наук РТ, а также при проведении научно-исследовательских работ в лаборатории термобарогеохимии Института геологии АН РТ и отделении геологии естественно-научного факультета Хорогского государственного университета им. М. Назаршоева в период с 2009г. по 2013г. Пробы и образцы пород и минералов отбирались в штольнях №№ 2, 4, 5, 6, 8 месторождения Кухилал, а также в древних горных выработках, отвалах и кернах скважин. Отбор образцов на месторождении сопровождался детальным описанием текстурных особенностей руд, взаимоотношений минералов и минеральных парагенезисов в обнажениях, подземных и открытых горных выработках. При камеральных исследованиях изучено более 450 образцов, 50 шлифов и аншлифов. Было изготовлено и изучено около 200 двухсторонне-полированных пластинок минералов и минеральных выколов. Проведено свыше 500 определений температур гомогенизации включений минералообразующих флюидов в минералах, выполнено 70 атомно-адсорбционных и 25 микрозондовых анализов. На базе лабораторного модуля Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета проведено 20 анализов по изучению кристаллохимии и природы окраски ювелирных минералов месторождения методом адсорбционной оптической спектроскопии. Проведена геммологическая экспертиза и технологические испытания шпинели, клиногумита и форстерита в геммологической лаборатории Гохрана при Министерстве финансов РТ. В работе использованы фондовые материалы Главного Управления Геологии при Правительстве Республики Таджикистан.

**Личный вклад.** Автором детально изучены минералого-геохимические, кристалломорфология и термобарогеохимические особенности Кухилалского месторождения ювелирной шпинели. Описаны и выявлены геммологические свойства и области использования таких редких ювелирных камней как шпинель, клиногумит и форстерит. Самостоятельно изготовлено и проведено изучение двухсторонне-полированных пластинок минералов.

## Основные защищаемые положения:

1. На месторождении Кухилал выявлено большое количество минеральных видов, главными из которых являются кроме шпинели и клиногумита, форстерит, графит, серпентин, флогопит. К второстепенным минералам относятся энстатит, кальцит, манассеит, гидроталькит, тремолит, кианит, пирротин, магнетит, нигрин, сапфирин, брусит, хлорит и др. В пегматитовых телах обнаружены дравит, кордиерит, андалузит, ильменорутил, магноколумбит и др.

2. Кристаллы шпинели обладают кристаллографическим совершенством и представлены главным образом осторёберными и плоскогранными октаэдрами. Далее по частоте встречаемости присутствуют октаэдрические кристаллы, усложненные гранями ромбододекаэдра, принимающие постепенно ромбододекаэдрический габитус со слабо развитыми гранями октаэдра. На кристаллах шпинели встречаются также грани тетрагонтриоктаэдра ( $\{112\}$ ,  $\{113\}$ ), тетрагексаэдра ( $\{102\}$ ,  $\{103\}$ ), тригонтриоктаэдра  $\{221\}$  и куба  $\{100\}$ . Двойники широко развиты и образованы по шпинелевому закону.

3. Температуры формирования основных минералов месторождения Кухилал укладываются в диапазон 800 - 600<sup>0</sup> С (800 - 650<sup>0</sup> С для собственно скарновой прогрессивной стадии и 690 - 600<sup>0</sup> С для регрессивной стадии процесса), что находится в соответствии с данными геотермометров. Давление в момент кристаллизации минералов было высоким: не менее 1, но не более 5 - 6 кбар. Минералообразующие флюиды были преимущественно хлоридными, а в составе газовой фазы включений преобладала углекислота.

4. Месторождение Кухилал относится к типу магнезиальных скарнов и образовалось на контакте магнезитовых мраморов с плагиогнейсово-мigmatитовыми алюмосиликатными породами, подвергнутыми преобразованию глубинными трансмагматическими флюидами. Становление месторождения происходило в результате проявления одной собственно скарновой и пяти послескарновых стадий минерализации.

**Достоверность исследований.** Оценка степени обоснованности основных научных результатов строится на представительности и достоверности исходных данных, корректности методик исследования и проведенных расчетов, что в случае рассматриваемой работы подтверждается, прежде всего:

- использованием теоретических положений, методологических подходов и практических материалов при исследованиях, т.е. комплексностью научных исследований с применением геологических, минералого-геохимических и физико-химических методов при максимально возможном учете всех опубликованных данных по геологии, минералогии и генезису Кухилалского месторождения ювелирной шпинели;

- детальными полевыми исследованиями с учетом имеющихся опубликованных данных, установлением геолого-структурных особенностей, минералого-геохимических и физико-химических условий образования;

- детальным геолого-минералогическим картированием, изучением последовательности образования парагенетических ассоциаций минералов в рудах, структурно-текстурных особенностей минеральных образований для установления стадийности и последовательности образования минералов во времени и в пространстве;

- не противоречивой трактовкой научных положений диссертации существующим теориям, парадигмам и результатам других авторов по данной тематике;

- четкой взаимосвязью теоретической, исследовательской и рекомендательной частей диссертации, реализуемой в виде комплексных разработок (критериев и признаков) и рекомендаций по многим вопросам практического аспекта при выполнении геологических работ производственными организациями.

**Публикации.** По результатам исследований имеется 13 публикаций, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для защиты кандидатских и докторских диссертаций.

Работа выполнена в лаборатории полезных ископаемых института геологии Академии наук Республики Таджикистан и кафедры естественнонаучных дисциплин ХОГУ имени М.Назаршоева под научным руководством академика ЕАЕН, члена-корреспондента АН РТ, доктора геолого-минералогических наук, профессора А.Р. Файзиева, которому автор выражает искреннюю признательность. Автор выражает благодарность кандидатам геолого-минералогических наук Б.А. Алидодову, И.С. Оймахмадову, А.Г. Николаеву, Н.С. Сафаралиеву, Ф.А. Малахову а также К.О. Мамадзиёеву, Ф.Н. Сафаралиеву, А.Ш. Гуламадшоеву за всестороннюю помощь, консультации и поддержку в выполнении данной работы. Автор благодарен родным и близким за поддержку. Аналитические работы выполнены в ЦХЛ Главного Управления Геологии при Правительстве Республики Таджикистан и в Казанском (Приволжском) Федеральном университете.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Работа содержит 134 страниц, включая 11 таблиц, 45 фотографий, 9 рисунков. Список использованной литературы состоит из 129 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Во введение описаны: актуальность, цель и задачи, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, а также приведены сведения

об апробации результатов работ на различных научных конференциях и форумах. Здесь же сформулированы защищаемые положения диссертации, кратко охарактеризована структура работы и выражаются благодарности.

## **Глава 1. ИСТОРИЯ ОСВОЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ**

В первой главе диссертации с использованием исторических источников приведены сведения по истории и освоению месторождения Кухилал начиная с XI в. по настоящее время.

## **Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПАМИРА**

Во второй главе даются сведения о геологическом строении Юго-Западного Памира в целом и Кухилалского месторождения в частности.

## **Глава 3. МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ**

Кухилал является уникальным месторождением, в котором сочетаются оригинальная минералогия и широкий круг полезных компонентов. Здесь сосредоточены разнообразные неметаллические полезные ископаемые. Прежде всего, это ювелирная шпинель и ювелирный клиногумит, являющиеся драгоценными камнями высшей категории. На месторождении развито магнезиально-силикатное (талек, форстерит, энстатит) и магнезиально-карбонатное (магнезит) сырьё. Кроме того, промышленный интерес может представлять графит, а также поделочный камень - серпентин. К второстепенным минералам относятся флогопит, тремолит, кальцит, кианит, пирит, магнетит, нигрин, манассеит, сапфирин, гидроталькит, хлорит, брусит, увит, пирротин, антофиллит (жедрит), кордиерит, кварц. Экзогенные минералы представлены лимонитом и ярозитом. В пегматитах Кухилала обнаружены турмалин (прозрачный желто-коричневый дравит и розовый рубеллит), ильменорутил, магноколумбит и др.

**Шпинель** относится к числу основных минералов месторождения. Развита она главным образом в шпинель-форстеритовых зонах скарных залежей и в кальцифирах. В продуктивных скарных залежах содержание минерала достигает до 20 – 30 %. Шпинель на месторождении Кухилал присутствует также в контактовых оторочках пегматитов, образуя шпинель-флогопит-энстатитовые зоны.

Шпинель в скарнах обычно встречается в виде вкрапленностей и находится совместно с форстеритом, клиногумитом, флогопитом, графитом, серпентином и другими минералами. Размеры выделений шпинели колеблются от долей мм до первых см, иногда и больше. Форма выделений шпинели нередко округлая или неправильная, а также таблитчатая, пластинчатая и изометричная. Иногда в шлировидных выделениях рыхлых мелоподобных агрегатов, состоящих из хлорита, серпентина, гидроталькита, манассеита и брусита, содержится качественная, лишенная трещин шпинель в виде приплюснутых шариков,

кривогранных кристаллов и их осколков. Описанные рыхлые агрегаты в древности названные «магалами». Именно они являлись важным источником ювелирного сырья на месторождении.

Цвет шпинели розовый, красновато-розовый, розовый с фиолетовым оттенком, серовато-розовый, беловато-розовый. Наиболее ценными разностями являются розовая и красновато-розовая шпинель. По химическому составу шпинель месторождения Кухилал ближе всего стоит к рубиновой шпинели из Цейлона (Дир и др., 1966). Только в минерале из Кулилала меньше содержится хрома (0,13 против 0,39 %) (среднее из 4 анализов), больше  $\text{SiO}_2$  (1,89 против 0,74 %). Кремнезём связан, по-видимому, с мельчайшими зёрнами силикатных минералов. В одном из изученных образцов шпинели установлен  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в количестве 0,43 %. По В.В. Буканову и др. (1977) содержание железа в шпинели колеблется от 0,1 до 0,6, а хрома – 0,004 - 0,04 %. Атомно-адсорбционным анализом в шпинели из Кухилала определено железо в количестве 0,116 % (среднее из 5 определений). Кроме того, этим методом в минерале установлены в среднем 0,124 % свинца, 0,29 % цинка, 0,011 % марганца и 0,001 % меди. Показатель преломления шпинели равен 1,715-1,718.

Шпинель изучалась методом оптической абсорбционной спектроскопии. Общей особенностью оптических спектров поглощения шпинелей из месторождения Кухилал является наличие двух широких интенсивных полос поглощения в видимой области. Конфигурация спектров поглощения и значение энергии полос поглощения позволяет приписать наблюдаемые полосы электронным переходам в ионах  $\text{Cr}^{3+}$ , которые изоморфно замещают ионы  $\text{Al}^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры шпинели. Полосы поглощения 386 нм и 539 нм в спектрах шпинелей обусловлены разрешенными по спину переходами с основного состояния  $^4\text{A}_{2g}$  на более высокие энергетические уровни  $^4\text{T}_{1g}$  и  $^4\text{T}_{2g}$  соответственно. Дополнительно при длинах волн 670 нм и 689 нм наблюдаются слабые узкие полосы поглощения R-переходов в ионах  $\text{Cr}^{3+}_{\text{VI}}$ . В ближней инфракрасной области спектра шпинелей фиксируется широкая и интенсивная полоса поглощения с двойным максимумом 2064 и 2666 нм, обусловленная разрешенным по спину электронным переходом  $^5\text{E} \rightarrow ^5\text{T}_2$  в ионах двухвалентного железа, изоморфно замещающих магний в тетраэдрических позициях структуры шпинели. Расщепление этой полосы связано с искажением  $\text{FeO}_4$  – тетраэдров вследствие проявления эффекта Яна-Теллера. Из вышеописанных оптических спектров поглощения ювелирных шпинелей окраску можно связать в основном с ионами  $\text{Cr}^{3+}$ , занимающими октаэдрические позиции в структуре минерала. По результатам интерпретации оптических спектров поглощения шпинелей был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО - 1931. Доминирующая длина волны основного цветового тона составила  $\lambda = 598 - 637$  нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 5,13 - 11,03 %. В спектрах люминесценции шпинели наблюдаются линии при длинах волн 678, 689, 700, 708 и 717 нм. Данные линии связаны с переходами на R-уровнях в ионах  $\text{Cr}^{3+}$ .



**Клиногумит** является широко распространенным минералом. Его содержание в продуктивных скарнах достигает до 20 – 30 %. На месторождении выделяется два типа клиногумитовой минерализации: вкрапленный и блоковый. Размер отдельных вкраплений клиногумита колеблется от долей мм до 3 - 5 см в поперечнике, редко и больше. Блоковый тип представляет собой гигантокристаллические обособления, достигающие размеров до 10 см в поперечнике. Выделения клиногумита в большинстве своем не имеют кристаллографических ограничений. Форма их изометричная, реже несколько удлинённая. Редкие правильно образованные кристаллы имеют большое число граней. Они короткостолбчатые, представляющие собой комбинацию призм, дипирамид и пинакоидов.

Цвет клиногумита светло-желтый, медово-желтый, реже оранжевый, коричнево-желтый. Обычно минерал непрозрачен. Однако встречаются полупрозрачные и прозрачные разновидности, которые чаще обнаруживаются в шпинель-форстеритовых жилах. Плотность минерала 3,02 - 3,17 г/см<sup>3</sup>. В проходящем свете клиногумит отчетливо плеохроирует от бесцветного по Ng до густо-желтого с золотистым оттенком по Np. Оптические константы клиногумита близки к справочным данным: Ng = 1,664 – 1,669, Nm = 1,640 – 1,653, Np = 1,633 – 1,640, Ng – Np = 0,026 – 0,035, + 2V = 70 - 80°, cNg = ~10°. Химический состав клиногумита (среднее из 2 анализов) (SiO<sub>2</sub> – 37,52; TiO<sub>2</sub> -2,41; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,12; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,47; FeO – 0,09; MgO – 54,37; CaO – 0,52; K<sub>2</sub>O -0,10; Na<sub>2</sub>O – 0,11; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,09; H<sub>2</sub>O – 1,47; п.п.п. – 0,38) в целом соответствует составу клиногумитов по У.Д. Диру и др. (1966). Только здесь заметно ниже содержание FeO (от 0,0 до 0,18 против 3,41 – 5,04 мас. %). Обращает на себя внимание повышенное содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Особо следует отметить наличие значительного количества титана (1,82 – 3,01 мас. %). На месторождении была описана титановая разновидность клиногумита. Химическим анализом в клиногумите из Кухилала Mn не обнаружен. Однако он определен атомно-адсорбционным методом (среднее из 6 определений) в количестве 0,040 %. Кроме того, этим методом в минерале установлены примеси (%) железа (0,127), свинца (0,011), цинка (0,006), никеля (0,002) и меди (0,001). В клиногумите спектроскопически выявлены также Na и K в десятых долях, Mn, Nb, В – в сотых и Zr, Sn, Cu, Ge – в тысячных долях процента.

Структура клиногумита сложена 5-ю типами искаженных Mg-октаэдров, скрепляющих одиночные тетраэдры SiO<sub>4</sub>. Ионы Ti занимают два спаренных по ребру F – F(OH), сильно искаженных Mg-октаэдра в звене из 4 октаэдров под углом 10 - 20° к кристаллографической оси а. Здесь же они соединены (тоже по ребру) с Mg-октаэдрами, в которые могут входить ионы железа. В оптических спектрах поглощения клиногумитов в видимом диапазоне длин волн выявлена широкая полоса поглощения при длине волны 425 нм. Длинноволновый край этой полосы поглощения протягивается через весь видимый диапазон длин волн и дает «окно пропускания» в районе 580 - 800 нм, чем и обуславливает появление оранжевого, желто-красного цвета в исследуемых клиногумитах. Полоса поглощения при длине волны 425 нм связана с механизмом переноса заряда Ti<sup>3+</sup> → Ti<sup>4+</sup>. По результатам интерпретации оптических спектров поглощения

клиногумитов был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО - 1931. Доминирующая длина волны основного цветового тона составила  $\lambda = 586 - 594$  нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 33,62 - 57,42 %. В ближней инфракрасной области спектра клиногумитов фиксируется две группы полос поглощения. Первая группа располагается при длинах волн 2784, 2798 и 2805 нм. Данные полосы поглощения связаны с симметричными валентными колебаниями в (ОН) группах кристаллической структуры клиногумита. В диапазоне длин волн 2900 - 3000 нм располагается большое количество тонких полос поглощения, которые связаны с молекулярным комплексом  $H_2O$ .

Клиногумит является характерным продуктом послескарновых изменений. Он образуется за счет метасоматического изменения форстерита.

**Форстерит.** Форстерит относится к числу главных породообразующих минералов продуктивных скарнов. Его содержание в них достигает 75 - 95 %. Выделения форстерита имеют линзовидную, овальную, толстотаблитчатую и неправильную форму. Контуров кристаллов и зерен минерала преимущественно неровные, извилистые. Агрегаты форстерита неравномернозернистые или порфиробластовые. Сплошные мономинеральные его выделения обладают гранобластовой структурой. Размеры зерен форстерита колеблются от долей мм (во вкрапленности кальцифиров) до 6 - 7 см в поперечнике (в жилах и контактово-реакционных зонах). Цвет форстерита белый или серовато- и зеленовато-белый. Встречаются также водяно-прозрачные бесцветные и медово-жёлтые его разновидности. Плотность минерала 3,16 – 3,29 г/см<sup>3</sup>. Под микроскопом неизменные разновидности форстерита бесцветные прозрачные. Спайность в шлифах выражена плохо, погасание относительно спайности прямое. Зато отмечается интенсивная микротрещиноватость, залеченная тонкими прожилками серпентина. Оптические константы форстерита указывают на безжелезистую или очень маложелезистую разновидность изоморфного ряда форстерит – фаялит:  $N_g = 1,668 - 1,672$ ,  $N_m = 1,652 - 1,657$ ,  $N_p = 1,636 - 1,638$ ,  $N_g - N_p = 0,030 - 0,034$ ,  $+2V = 82 - 90^\circ$ .

Химический состав форстерита (среднее из 3 анализов) ( $SiO_2 - 41,33$ ;  $TiO_2 - 0,12$ ;  $Al_2O_3 - 0,52$ ;  $Fe_2O_3 - 0,19$ ;  $FeO - 0,64$ ;  $MnO - 0,01$ ;  $MgO - 55,07$ ;  $CaO - 0,51$ ;  $Na_2O - 0,10$ ;  $P_2O_5 - 0,10$ ;  $CO_2 - 0,32$ ;  $H_2O^+ - 0,36$ ;  $H_2O^- - 0,06$ ; п.п.п. – 0,79) характеризуется широким спектром компонентов. Присутствие в анализах  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $P_2O_5$ , а также избыточное количество  $MgO$ , связано с микровключениями серпентина, апатита и реликтового магнезита. Характерной особенностью форстерита Кухилалского месторождения является очень низкое содержание в нём оксида железа. Это подтверждается и данными атомно-адсорбционного метода. Проведённые исследования 8 образцов минерала показывают, что в минерале содержится в среднем всего 0.069 % железа. Кроме того, этим методом в форстерите установлены (%) 0,042 марганца, 0,010 свинца, 0,002 цинка и 0,001 никеля. Спектральным анализом обнаружены также As – десятые, Ba и Sr, Sn, В – сотые, Cu, Ge, V, Sr – тысячные и Co – десятитысячные доли процента.

**Энстатит** является одним из основных породообразующих минералов скарнов. Мощность энстатитовых зон достигает нескольких метров, доходя иногда до 10 и более метров. Протяженность их достигает нескольких десятков метров. Агрегаты энстатита крупнокристаллические, кристаллы удлиненные, крупные (до 5 - 7 см по длине). Отдельные индивиды достигают величины 30 - 40 см в длину и 10 - 15 см в поперечнике. Цвет энстатита серый, светло-серый, серовато-белый, блеск стеклянный, излом неровный. Спайность по (110) совершенная. Твердость 5,5, плотность 3,03 г/см<sup>3</sup>.

Химический состав энстатита из скарнов месторождения (среднее из 2 анализов) ( $\text{SiO}_2$  – 58,80;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,93;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,29;  $\text{FeO}$  – 0,55;  $\text{MnO}$  – 0,03;  $\text{CaO}$  – 0,52;  $\text{MgO}$  – 37,60;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,12;  $\text{H}_2\text{O}$  – 0,01; п.п.п. – 0,32) коррелирует с химическими анализами этого минерала по У.А. Диру (1965). Атомно-адсорбционным анализом в нём установлены (% , среднее из 5 определений) 0,115 железа, 0,008 марганца, 0,001 свинца, 0,001 цинка и 0,001 никеля. Оптические константы энстатита:  $N_g = 1,660 - 1,665$ ,  $N_p = 1,650 - 1,656$ ,  $N_g - N_p = 0,010$ ,  $+ 2V = 57 - 68$ ,  $c:N_g = 0 - 6^\circ$ .

**Графит** на месторождении распространен широко и локализован как в эндо-, так и эндозонах скарнов. В экзопородах он распространен в шпинель-форстеритовой зоне скарнов и в шпинель-форстеритовых жилах. В них графит развит крайне неравномерно. Наиболее значительные скопления графита достигают от 2 до 20 % их объема. Графит здесь встречается в виде сплошных мономинеральных скоплений, состоящих из агрегата мелких чешуй. Последние обычно ксеноморфны и выполняют пространство между зернами форстерита, шпинели, клиногумита. В эндозонах скарнов графит развит в кианитсодержащих разностях пород, особенно в кианит-плагиоклазовой зоне, играя в ней роль породообразующего минерала. Графит в виде вкрапленности или мономинеральных агрегатов встречается также в мраморах и гнейсах.

**Серпентин** на месторождении Кухилал распространен очень широко. Он является продуктом заключительных стадий послескарнового изменения форстерита, образуя по нему отчетливые псевдоморфозы. Кроме псевдоморфной разновидности серпентин отмечается также в виде многочисленных прожилков, гнезд и выделений неправильной формы. В.И. Киселев и В.И. Буданов (1986) выделяют на месторождении две разновидности серпентина: прожилковый зеленой окраски и ксеноморфный мелоподобный белого цвета. В шлифах под микроскопом прожилковая разновидность имеет поперечно-волокнутое строение с интерференцией в зеленоватых тонах. Ксеноморфный серпентин образует землистые слабо просвечивающие пластинчатые агрегаты, интерферирующие в серо-коричневых тонах. Зеленая разновидность серпентина представлена хризотилом, а белая-антигоритом. Показатели преломления серпентина: для хризотила –  $N_g = 1,563$ ,  $N_p = 1,558$ ; для антигорита –  $N_g = 1,557$ ,  $N_p = 1,549$ .

**Манассеит** встречается в крупных линзах серпентинизированного форстерита, вблизи их контакта с энстатитовым скарном. Находится он в виде

гнезд неправильной конфигурации, размером до 30 см в поперечнике, усеянных угловатыми осколками яркой сиреневато-розовой шпинели. В участках наибольшего сгущения трещин он образует рыхлые скопления. В слаботрещиноватых скарновых породах манассеит более прочный. В связи с этим выделяются две разновидности минерала. Одна рыхлая, снежно-белая, другая-плотная, нежно розовая. Рыхлая мягче, а плотная тверже 2. Блеск манассеита матовый с перламутровым отливом. Жирен на ощупь, похож на тальк. Спайность отчетливая в одном направлении. В проходящем свете под микроскопом манассеит бесцветен. В скрещенных николях обнаруживает прямое погасание. Манассеит является продуктом эндогенного преобразования шпинели. В результате тектонических деформаций происходило растрескивание шпинели с образованием угловатых осколков, а затем под действием низкотемпературных щелочных растворов шпинель замещалась манассеитом. При этом можно наблюдать весь процесс, от заполнения манассеитом мелчайших трещин в шпинели, до образования по ней полных псевдоморфоз. Незамещенные же осколки шпинели оказались надежно предохраненными от дальнейших тектонических деформаций рыхлым агрегатом манассеита. Следовательно, манассеитовые гнезда на месторождении могут служить надежным критерием поисков ювелирной шпинели. Показатели преломления манассеита:  $N_g = 1,522 - 1,526$ ,  $N_p = 1,509 - 1,512$ .

**Тальк.** Тальковая минерализация на Кухилалском месторождении развита широко. Она приурочена к кровле мощного пласта магнетитовых мраморов и локализуется на контакте мраморов и мигматизированных биотитовых гнейсов. Являясь составной частью скарновых залежей, тальк образует в них мономинеральные зоны, мощность которых колеблется от нескольких см до десятков метров. Протяженность тальковых залежей до десятков метров. Кроме того тальк образует линзовидные тела мономинерального состава, мощностью до 2 - 3 м, локализованные непосредственно во вмещающих гнейсах или гнейсогранитах. Такие тальковые тела следует считать апокарбонатными, заместившими полностью исходную карбонатную породу. Цвет талька белый, желтовато-белый, серовато-белый, а также в редких случаях желтовато-белый и грязно-серый. Агрегаты крупночешуйчатые с ярко выраженной сланцеватостью. Химический состав минерала (среднее из 3 анализов):  $SiO_2 - 62,02$ ,  $TiO_2 - 0,10$ ,  $Al_2O_3 - 0,93$ ,  $Fe_2O_3 - 0,13$ ,  $FeO - 0,23$ ,  $CaO - 0,19$ .  $MgO - 31,09$ ,  $Na_2O - 0,21$ ,  $P_2O_5 - 0,11$ , п.п.п. - 4,62). По сравнению с составом талька, приведенного У.А. Диром и др. (1966), тальк из Кухилала отличается несколько повышенным содержанием титана, и резко пониженным - железа. Титан, по-видимому, изоморфно замещает кремний в кристаллической решетке минерала. Показатель преломления талька:  $N_m = 1,577$ ,  $-2V = 10 - 20^0$ . Тальк представляет собой продукт послескарновых преобразований и образуется за счет замещения энстатита в апокарбонатной части скарновой колонки, или антофиллита, который предшествуя тальку, также замещает энстатит.

**Сапфирин.** Сапфирин на месторождении Кухилал был обнаружен И.А. Зотовым (1966) в шпинель-энстатитовой зоне скарнов. Он находится в виде

неправильных, обычно изометричных зерен размером 1 - 3 мм в диаметре. Спайность отсутствует. Угол  $2V = -78^{\circ}, -80^{\circ}, +90^{\circ}, +88^{\circ}$ , что свидетельствует об изменчивости состава минерала. Дисперсия оптических осей ясная  $v > r$ . Показатели преломления сапфирина:  $N_g = 1,7205 \pm 0,0015$ ,  $N_r = 1,716 \pm 0,002$ . В зернах минерала нередко наблюдаются простые, полисинтетические и перекрещенные двойники. В сапфирине определены примеси (в %) Fe и Ti (0,1-0,3), Ca (0,01-0,02), Cr, Zr, V (0,001-0,003), Mn (0,001), Ga (0,0005), Cu (0,0001-0,0003). Цвет сапфирина светло голубой или зеленый, в шлифах бесцветный до голубого. Плеохроизм от бесцветного до голубого и небесно-голубого. Слабый плеохроизм в зернах сапфирина и низкий его показатель преломления указывает на то, что на месторождении Кухилал найден магнезиальный член изоморфного ряда.

**Нигрин** обнаружен в форстеритовых скарнах и пегматитах, а также в кальцифирах. В последних содержание минерала достигает 1 %. Встречается он в виде тонкопризматических кристаллов размером до 2 - 3 мм. Находится нигрин в ассоциации с клиногумитом, реже со шпинелью и форстеритом. При этом клиногумит нередко представлен титансодержащей разновидностью. Нигрин черного цвета. Минерал из форстеритовых скарнов содержит 10 % Nb и 2 % Ta, а пегматитов 12 % Nb и 5 % Ta.

**Пирит** встречается в виде прожилков, мощностью до 5 - 6 см и гнезд различной конфигурации. В тесной ассоциации с ним встречаются титаноклиногумит, кристаллы нигрина. Форма кристаллов пирита кубическая и кубо-октаэдрическая, размер которых достигает 4 - 5 см. Встречаются также скрученные индивиды. В кристаллах пирита содержатся обильные включения форстерита и шпинели. Атомно-адсорбционным методом в пирите установлены следующие элементы-примеси (% , среднее из 6 анализов): свинец – 0,024, цинк – 0,009, марганец – 0,004 и никель – 0,004.

Таким образом, месторождение Кухилал характеризуется сложным минеральным составом, на нём описано более 30 минеральных видов и разновидностей. Наряду с драгоценными камнями (ювелирные шпинель, клиногумит, дравит и прозрачный форстерит) на месторождении практический интерес представляют тальк, энстатит, магнезит и поделочный серпентин.

#### **Глава 4. КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИЯ ШПИНЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ**

На месторождении Кухилал значительная часть кристаллов шпинели представлена симметрично развитыми острорёберными и плоскогранными октаэдрами, не содержащими граней других простых форм (фото. 1). Следующими по частоте встречаемости формами кристаллов шпинели являются октаэдры с полосками граней ромбододекаэдра различной ширины. Иногда встречаются формы, где грани  $\{110\}$  очень сильно развиты и кристаллы приобретают ромбододекаэдрический габитус с мелкими треугольными гранями  $\{111\}$ . Наблюдаются на месторождении и кристаллы, в которых помимо граней  $\{111\}$  и

$\{110\}$  встречаются слабо развитые в площадном отношении грани тетрагонтриоктаэдров  $\{112\}$ ,  $\{113\}$  и тетрагексаэдров  $\{102\}$ ,  $\{103\}$ . Редкой формой октаэдрического габитусного типа можно считать комбинационные кристаллы, где наряду с гранями других символов встречаются и грани куба  $\{100\}$ . Среди комбинационных форм на месторождении Кухилал нами впервые обнаружены грани тригонтриоктаэдра  $\{221\}$ .



Фото 1. Типичные формы кристаллов шпинели месторождения Кухилал

На месторождении Кухилал часто наблюдаются двойники роста по шпинелевому закону. Реже встречаются механические двойники, сильно ухудшающие качество кристалльного сырья для нужд ювелирного производства. Граненые скульптуры на различных кристаллах шпинели отличаются друг от друга. Грань  $\{111\}$  бывает зеркально-гладкой, покрытой нередко мелкими фигурами травления в виде ямок, имеющих форму отрицательных тригональных пирамид и треугольных углублений с плоским дном. Такая скульптура граней характерна для кристаллов, росших в условиях малого насыщения и отсутствия дефектов в кристаллической решетке минерала. На гранях некоторых октаэдров шпинели развиты слои–меандры и плоские наплывы–бугорки роста, свидетельствующие о более высоких насыщениях раствора. Поверхность граней  $\{110\}$  чаще матовая, с вытянутыми ямками травления или узкими трубчатыми каналами. Грани  $\{112\}$  и  $\{113\}$  большей частью гладкие с гранными рисунками неправильной, четырехугольной и трапециевидной конфигураций, а грани  $\{102\}$  и  $\{103\}$  имеют неровную шероховатую поверхность.

Морфология кристаллов минерала зависит от общего химического состава и неоднородностей среды кристаллизации – химического состава, температуры, давления, степени пресыщения, концентрационных потоков, встрече при росте с препятствием и т.д. Влияние этих факторов определяет общий внешний вид кристалла и выражается в появлении тех или иных простых форм или их комбинаций, неодинаковом площадном развитии отдельных граней каждой простой формы, в разной степени уплощения индивидов и др. Обычно природная Mg-Al-шпинель ограняется гранями октаэдра.

Таким образом, кристаллы шпинели месторождения характеризуются значительным кристаллографическим совершенством и представлены большей частью симметрично-развитыми острореберными и плоскогранными октаэдрами.

## **Глава 5. ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КУХИЛАЛСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮВЕЛИРНОЙ ШПИНЕЛИ**

С целью выявления температурных условий формирования минерализации на месторождении Кухилал были проведены термометрические исследования шпинели, форстерита, энстатита (собственно скарновая стадия метасоматического процесса), тремолита, клиногумита, кальцита (послескарновая минерализация регрессивной ветви метасоматического процесса).

**Форстерит.** В форстерите обнаружено значительное количество включений флюидных растворов-расплавов. По форме они разнообразны: от изометричных, округлых и ромбовидных до удлинённо-призматических и неправильных. Среди них преобладают вакуоли, обладающие формой негативных кристалликов. Все включения раскристаллизованные, где наряду с тонкокристаллическим агрегатом анизотропных и рудных минералов встречаются изотропные кристаллики дочерних минералов (галит, сильвин). Галит в вакуолях образует кубики и уплощенные призматические формы, а сильвин – кубики с округлыми вершинами. Содержание газовой фазы в них сравнительно высокое (15 – 30 %). Она находится обычно среди раскристаллизованных агрегатов в виде небольших обособлений. При нагревании включений в форстерите первые признаки их изменения фиксируются в тонкораскристаллизованных агрегатах при температурах 545 - 570<sup>0</sup> С. При этих температурах мелкие газовые обособления в интерстициях собираются в один пузырек. Далее при температурах 660 - 710<sup>0</sup> С расплавляются все дочерние кристаллики с образованием солевого расплава-рассола с газовым пузырьком. Гомогенизация включений происходит в жидкую фазу в интервале температур 800 - 740<sup>0</sup> С. Размер включений в форстерите 0,001 – 0,01 мм.

**Шпинель.** В шпинели включения также раскристаллизованные. Состоят вакуоли из зернистых агрегатов дочерних кристаллов, имеющих полнокристаллическую микроструктуру. Форма включений в шпинели различная. Чаще вакуоли изометрические и овальные, реже удлинённые и неправильной конфигурации. Полости включений нередко несут элементы огранки и представляют собой негативные кристаллиты или их фрагменты. Размер вакуолей от 0,02 до 0,1 мм. Включения представлены агрегатом изо- и анизотропных

твердых фаз (65 – 75 %), в интерстициях которых размещаются газовые (15 – 20 %) и жидкие (10 – 15 %) фазы. Среди дочерних кристаллов во включениях наряду с галитом и сильвином диагностированы карбонаты. При нагревании включений первые фазовые изменения начинаются при температурах 450 - 475<sup>0</sup> С. При этом разрозненные газовые фазы сливаются в один пузырек, а далее до температуры около 500 - 520<sup>0</sup> С объем пузырька увеличивается. При дальнейшем нагревании начинается уменьшение газовой фазы и одновременно растворение твердых фаз. Полная гомогенизация включений в солевой расплав происходит в интервале температур 770 - 650<sup>0</sup> С.

**Энстатит.** В энстатите обнаружены также раскристаллизованные включения расплавов–рассолов. По фазовому составу они представлены агрегатом зерен кристаллических фаз и флюидной фазой, деформированной ими. Дочерние кристаллы занимают во включениях более 70 % от всего их объема. Содержание газа 15 - 20, а жидкости 10 – 12 %. По форме включения имеют преимущественно вытянутую форму в виде прямоугольников и трубочек, ориентированных вдоль оси *c* кристалла. Реже вакуоли имеют неправильную форму. Размер включений 0,001 – 0,005 мм. Интервал температур гомогенизации включений в энстатите падает на диапазон 690 - 650<sup>0</sup> С.

**Клиногумит.** В клиногумите первичные включения имеют округлую, изометрическую, ромбовидную, удлиненную и неправильную форму. Однако, большая их часть несет элементы огранки, среди которых преобладают негативные призматические и призматически-пирамидальные формы. Размеры включений разнообразны - от 0,01 до 0,1 мм. По агрегатному состоянию подавляющее большинство включений относятся к раскристаллизованным, представленным преимущественно из анизотропных дочерних кристаллических фаз. В интерстициях между этими кристалликами размещаются жидкие и газовые фазы. В клиногумите обнаружены, наряду с раскристаллизованными, единичные флюидные включения преимущественно газового состава, что свидетельствует о вскипании расплава–раствора на определенных этапах его кристаллизации. Температура гомогенизации первичных включений в клиногумите приходится на интервал 680 - 600<sup>0</sup> С. Гомогенизируются включения в основном в жидкую фазу, реже в газовую.

**Тремолит.** В тремолите включения весьма разнообразны по морфологии и фазовому составу. Большинство их имеет сильно вытянутое шестиугольное очертание и трубчатую форму. Размер включений измеряется тысячными долями мм. При комнатной температуре включения в тремолите содержат агрегат изо- и анизотропных кристаллических фаз с незначительным количеством жидкой и газовой фаз. При нагревании до температуры 450<sup>0</sup> С жидкий конденсат в них переходит в газовую фазу. Полная гомогенизация включений наступает в диапазоне температур 650 - 600<sup>0</sup> С.

**Кальцит.** В минерале обнаружены флюидные включения, размер которых колеблется от 0,02 до 0,05 мм. Форма их овальная, изометричная, ромбовидная,



удлиненная. Иногда включения имеют форму негативных кристаллов. По агрегатному состоянию они главным образом многофазовые кристалло-флюидные, реже однофазовые газовые. В кристаллофлюидных включениях водный раствор составляет не более 15 - 20, а содержание газовой фазы 20 – 25 % их объема. Остальной объем включений приходится на долю твердых фаз. Нередко встречаются консерванты с несколькими газовыми пузырями, или же газ деформирован и находится в интерстициях дочерних кристаллов. Гомогенизация кристаллофлюидных включений происходит поэтапно. Вначале исчезает жидкая фаза включений, далее постепенно растворяются твердые фазы, а затем наступает общая гомогенизация исключительно в газовую фазу, что свидетельствует о высокой флюидонасыщенности минералообразующей среды. Температура гомогенизации включений приходится на интервал 690 - 670° С.

Таким образом, общий интервал температур формирования основных минералов месторождения Кухилал составляет 800 - 600° С. Данные, полученные методом гомогенизации в некотором приближении в целом согласуются с температурными условиями регионального метаморфизма вмещающих пород, установленными при помощи различных минеральных геотермометров: 900 - 700° С для гранулитовой, и 650 - 600° С (Буданова, Буданов, 1974) и 670 – 650° С (Зотов, 1967) для амфиболитовой фаций.

Давление в момент кристаллизации минералов было не ниже 1300 бар, но не больше 5 - 6 кбар. Состав жидкой фазы включений в шпинели и клиногумите был преимущественно хлоридным, с незначительным содержанием  $\text{HCO}_3^-$ . Из катионов преобладали  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Однако присутствие в многофазовых включениях нерастворимых твердых фаз позволяет предположить более сложный состав минералообразующих растворов–расплавов. В газовой фазе включений преобладает углекислота.

## **Глава 6. ГЕНЕЗИС И ГЕММОЛОГИЯ КУХИЛАЛСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮВЕЛИРНОЙ ШПИНЕЛИ**

В предлагаемой ниже главе диссертации описываются особенности генезиса месторождения Кухилал, а также приводятся данные изучения геммологических особенностей основных ювелирных минералов месторождения – шпинели, клиногумита и форстерита.

Месторождение Кухилал относится к магнезиальным скарнам. Здесь скарны образуют зону, имеющую мощность 15 - 18 м и протяженность около 700 м. В центральной части этой зоны находятся два обособленные тела шпинель-форстеритовых скарнов, в которых продуктивные залежи образуют жилообразные, линзовидные или неправильной формы тела протяженностью до нескольких десятков метров и мощностью до 5 м. Структуры пород шпинель-форстеритовых скарнов разнообразны: гранобластовая, гетеробластовая, пойкилитовая, порфиробластовая, коррозионная и структуры замещения. Текстуры прожилковая, полосчатая, массивная.

Развиваются скарны на контактах между магнезитовыми мраморами и плагиогнейсово – мигматитовыми алюмосиликатными породами. Последовательность образования зон в скарнах следующая: магнезитовый мрамор – шпинель–форстеритовый кальцифир – шпинель–форстеритовый экзоскарн – энстатит – форстеритовый ( $\pm$ шпинель) экзоскарн – энстатитовый ( $(\pm$ шпинель) экзоскарн – околоскарновая порода с кианитом ( $\pm$ силлимонит) и графитом – биотитовые гнейсы и мигматиты. Обращает на себя внимание наличие кианита (силлиманита) в эндозонах и отсутствие или слабое развитие глиноземсодержащих минералов (шпинель, флогопит) в тыловой энстатитовой зоне эндоконтактной части колонки и, напротив, обильное их развитие во внешних экзоконтактных зонах (зона форстеритового скарна и зона кальцифира). Специфической особенностью данной колонки следует считать и обильное развитие графитизации как в эндо-, так и в экзозонах. В регрессивные стадии скарнообразования происходит избирательное развитие различной послескарновой минерализации по первично – скарновым зонам. Это широкое развитие в эндозонах окварцевания, приводящего к образованию характерного кианит-кордиерит-кварцевого парагенезиса, а также мелкочешуйчатая флогопитизация, образующая нередко мономинеральные гнезда и линзы. В эндозонах по энстатиту развиваются амфиболитизация (жедрит, реже тремолит) и оталькование, а по форстеритсодержащим зонам – клиногумит, серпентин и рассеянная флогопитизация.

На месторождении Кухилал выделяется шесть стадий метасоматического минералообразования – одна собственно скарновая и пять стадий послескарнового изменения. Собственно скарновая стадия протекала в условиях интенсивного привноса  $\text{SiO}_2$  в экзоконтактную часть колонки, а в эндоконтактной части, напротив, происходила заметная десилификация алюмосиликатных пород. В эндоконтактах скарна образуются такие высокоглиноземистые силикаты, как кианит и силлиманит. В экзоконтактной части колонки выделяются магнезиальные минералы – форстерит, энстатит, шпинель (таблица 1).

В послескарновых стадиях минералообразования изменение химизма пород как в эндоскарнах, так и экзоскарнах происходит однотипно. В первых трех стадиях послескарновых изменений образуются клиногумит, антофиллит (жедрит), тремолит, тальк и флогопит. Они главным образом появляются за счет замещения основных собственно скарновых минералов – форстерита и энстатита. При этом происходил некоторый отток  $\text{SiO}_2$  (вместе с  $\text{MgO}$ ) и дополнительный привнос  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{CaO}$ . В четвертой стадии послескарновых изменений происходила инверсия режима химизма среды минералообразования в результате нового притока  $\text{SiO}_2$  в породы экзо- и эндозон. В результате в породах экзоконтакта по шпинели образуются сапфирин и амезит, а в породах эндоконтакта происходит выпадение кварца. Заключительная, пятая стадия послескарновой минерализации характеризуется образованием серпентина по форстериту и амезита по тальку.

Таблица 1

## Последовательность образования главных минералов месторождения

## Кухилал (Юго-Западный Памир)

Этапы преобразования		Прогрессивный этап	Регрессивный этап				
Температура		800 - 650 <sup>0</sup> c	690 - 600 <sup>0</sup> c				< 600 <sup>0</sup> c
Минералы	Стадия при-образования	1	2	3	4	5	6
1	Форстерит	+					
2	Энстатит	+					
3	Шпинель	+					
4	Андалузит	+					
5	Тремолит					+	+
6	Жедрит		+	+	+		
7	Кианит	+					
8	Силлиманит	+					
9	Тальк				+	+	+
10	Флогопит		+	+	+		
11	Кордиерит		+	+			
12	Амезит					+	+
13	Сапфирина					+	
14	Клиногумит		+	+	+		
15	Кальцит	+	+	+	+	+	+
16	Сerpентин						+
17	Графит		+	+	+		
18	Кварц	+					

Метасоматическая зональность месторождения имеет диффузионный (биметасоматический) характер, связанный с обменом компонентов между резко неравновесными по составу породами, т.е. гнейсами (мigmatитами) с одной стороны и карбонатными породами, с другой. Однако, скарновые тела характеризуются преимущественной приуроченностью к контактам магматических образований, не всегда присутствуют в контактовой части между химически неравновесными породами. Это дает основание считать, что как скарнообразование, так и магматизм (migmatитoобразование) являются результатом регионального метаморфизма толщи, т.е. оно не является производными магматического процесса. Образуются скарны под действием метаморфизирующих поровых растворов. Скарнообразование на месторождении Кухилал и во всем Юго-Западном Памире соответствует в целом этапу регионального метаморфизма

толщи, охватывая интервал условий от низов гранулитовой до верхов амфиболитовой фаций.

Минералообразование в магнезиальных скарнах месторождения Кухилал происходило из высокотемпературных растворов-расплавов в диапазоне температур 800 - 600° (800 - 650° С для собственно скарновой минерализации или прогрессивной стадии процесса и 690 – 600° С для послескарновой или регрессивной стадии).

Месторождение Кухилал является практически единственным источником широко известного самоцвета – ювелирной шпинели (лала) и сравнительно нового ювелирного камня - клиногумита. На месторождении обнаружена также бесцветная разновидность оливина - ювелирный форстерит.

**Шпинель.** Минерал широко известен под названием бадахшанский лал, один из красивейших древних камней, который пока еще не оценен в полной мере. Согласно закону РТ о «драгоценных металлах и драгоценных камнях» шпинель была внесена в группу драгоценных камней I - го класса. На месторождении шпинель имеет различную окраску. В основном она окрашена в розовый цвет и называется «рубин-балэ» (фото 2).



Фото 2. Шпинель в сырье и огранке

**Клиногумит.** Клиногумит был открыт французским учёным Альфредом Деклуазо в 1876 г. и он особого интереса не представлял. Всё изменилось в 1983 г., когда на месторождении Кухилал был обнаружен клиногумит ювелирного качества. На тот момент Кухилал был единственным местом добычи прозрачных кристаллов клиногумита, из которых начали огранять небольшие камни весом 1 - 3 карата. Но на месторождении встречаются и большие камни весом от 15 каратов и выше (фото 3).

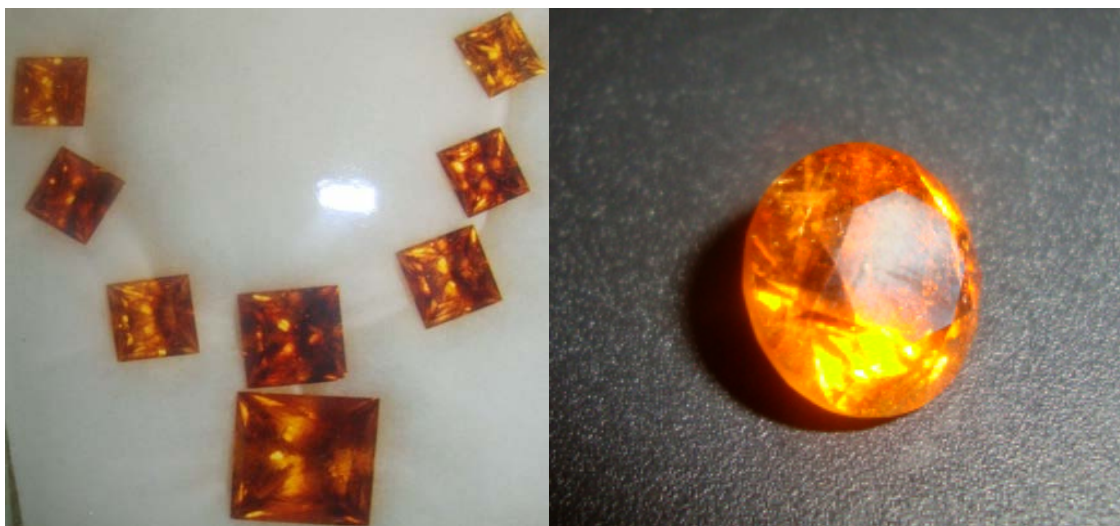


Фото 3. Ограненные кристаллы клиногумита (квадратная и овалная форма)

**Форстерит.** Форстерит относится к числу главных породообразующих минералов продуктивных шпинель-форстеритовых скарнов месторождения Кухилал. Основная масса минерала белого, серовато-белого и зеленовато-белого цвета. Однако встречаются и выделения бесцветного прозрачного форстерита, хорошо поддающего огранке (фото 4). Размеры таких кристаллов от первых мм до 5 - 6 см, чаще 2 - 4 см.



Фото 4. Форстерит в сырье и огранке

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты и практические рекомендации, вытекающие из работы, сводятся к следующему.

1. На месторождении Кухилал описаны более 30 минеральных видов и разновидностей, четыре из которых ювелирная шпинель, клиногумит, дравит и прозрачный форстерит являются драгоценными камнями высшего качества. Наряду с ними на месторождении могут представлять практический интерес магнезиальное сырьё (форстерит, энстатит, тальк) и поделочный серпентин.

2. Кристаллы шпинели из Кухилалского месторождения обладают главным образом значительным кристаллографическим совершенством и представлены симметрично-развитыми острогрёберными и плоскогранными октаэдрами. Менее развиты комбинации октаэдра с ромбододекаэдром. Октаэдры с гранями тетрагонтриоктаэдра, тетрагексаэдра, тригонтриоктаэдра и куба относятся к числу редких форм.

3. Выявлена природа окраски шпинели и клиногумита месторождения. Высокодекоративная окраска кухилалской ювелирной шпинели связана с хромофорной ролью ионов трехвалентного хрома, занимающих октаэдрические структурные позиции. Незначительную роль в окраске местной шпинели играют ионы двухвалентного железа. Цвет клиногумита связан с разновалентными структурными ионами титана. Молекулярная вода в кристаллической структуре клиногумита является индикатором его происхождения на более поздних по сравнению со шпинелью этапах скарнообразования.

4. Минералы месторождения образовались в диапазоне температур 800 - 600<sup>0</sup> С. При этом интервал температур 800 - 650<sup>0</sup> С представляет собой собственно скарновую минерализацию прогрессивной стадии процесса, тогда как температуры 690 - 600<sup>0</sup> С послескарновую минерализацию регрессивной стадии. Давление среды минералообразования составляло не менее 1,3, но не более 5 - 6 кбар. Химизм среды определялся хлоридными флюидами, обогащенными катионами кальция, натрия, калия, магния, а также углекислотой.

5. Месторождение Кухилал связано с магнезиальными скарнами, развитыми на контакте магнезиальных мраморов и плагиогнейсово- мигматитовых алюмосиликатных пород. Зоны эндоконтакта характеризуются наличием кианита (силлиманита) и отсутствием глинозёмсодержащих минералов (шпинели, флогопита). Тогда как энстатитовая зона характеризуется минерализацией глинозёмсодержащих минералов. Специфической особенностью скарнов является широкое развитие графитизации как в эндо-, так и в экзозонах месторождения.

6. Находки новых объектов со шпинелевой минерализацией (Горан, Ямч, Вранг, Сумджин, Худуск, Шамбеде, Козидех, Мульводж, верховья реки Ляджвардара и др.) свидетельствуют о потенциальных возможностях выявления новых месторождений этого драгоценного камня на Юго-Западном Памире. В этой связи на данных площадях рекомендуется постановка детальных крупномасштабных поисково-разведочных работ. При этом поиски следует сосредоточить на участках распространения серпентенизированных форстеритовых скарнов, с учётом комплекса структурных, литологических, магматических и метасоматических поисковых факторов и типоморфных особенностей, выявленных на месторождении Кухилал.

7. Создание геопарков на территории Юго-Западного Памира, в частности на месторождении Кухилал, является актуальным для развития региона в целом.

В целом, в работе сформулированы, обоснованы и доказаны основные научные положения, которые в совокупности представляют собой решение крупной задачи характеристики минералогических особенностей и генезиса уникального Кухилалского месторождения шпинели на Памире.

## ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРАЦИИ

### Статьи:

1. Файзиев, А.Р. Кристалломорфология шпинели месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир). / А.Р. Файзиев, **С.А. Эльназаров** // Труды Института геологии АН РТ, новая серия. Выпуск 8. Душанбе: Дониш, 2009, – С. 234-241.
2. Файзиев, А.Р. Термобарогеохимические условия формирования Кухилалского месторождения благородной шпинели, / А.Р. Файзиев, **С.А. Эльназаров** // Известия АН РТ, №1 (150). –2013, –С. 99-106. (перечень ВАК РФ).
3. **Эльназаров, С.А.** Геммологические свойства шпинели, клиногумита и ювелирного форстерита из месторождения Кухилал. / А.С. Эльназаров, А.Р. Файзиев // Доклады. АН РТ. Т. 56, №12. –2013. –С. 997-1003 (перечень ВАК РФ).
4. Николаев, А.Г. Природа окраски и колориметрические параметры ювелирных камней месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир) /А.Г.Николаев, **С.А. Эльназаров** // Учен. Зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. Науки. – 2014. –Т.156, кн.3.–С. –109-121. (перечень ВАК РФ).

### Материалы конференций:

1. **Эльназаров, С.А.** Промышленные значения ювелирных камней Юго-Западного Памира (на примере месторождения Кухилал). / С.А.Эльназаров // Материалы научного-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов Хорогского государственного университета им. М.Назаршоева, посвященной 1150-летию основоположника таджикской литературы А.Рудаки, Хорог, 2008, –С. 111-112
2. Файзиев, А.Р. Самоцветы Памира. / А.Р. Файзиев, Н.Р. Асमतов, **С.А.Эльназаров** //Геоматериалы для высоких технологий, алмазы, благородные металлы, самоцветы Тимано-Североуральского региона: Материалы Всесоюзного минералогического семинара с международным участием. – Сыктывкар: Геопринт, 2010. –С. 205-207.
3. Fayziev, A.R. FORMATION TEMPERATURE OF CALCITE FROM THE KUHILAL NOBLE SPINEL DEPOSIT (TAJIKISTAN). / A.R. Fayziev, N.S. Safaraliev, **S.A. Elnazarov**// -Abstracts volume 3<sup>rd</sup> Biennial conference on Asian Current Research on Fluid Inclusions ACROFI-III and 14<sup>th</sup> international Conference on Thermobarogeochemistry TBG-XIV. – Novosibirsk, RUSSIA 2010, –P. 58-59.
4. **Эльназаров, С.А.** Качественная характеристика минерального сырья месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир)./ С.А. Эльназаров // Материалы

научной конференции посвященной «20-ой годовщине независимости Республики Таджикистан. Хорог, 2011, – С. 55-56.

5. Fayziev, A.R. Thermobarogeochemical conditions for the Kuhilal Noble Spinel Area formation (Tajikistan)/ A.R. Fayziev and **C.A. Elnazarov** // 4<sup>th</sup> Biennial Conference on Asian Current Research on Fluid inclusions ACROFI IV. Brisbane, Australia 2012, –P. 28.

6.Файзиев, А.Р. Благородный клиногумит Кухилалского месторождения (Таджикистан)/ А.Р. Файзиев, **С.А.Эльназаров** // Минералогический семинар: современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2013). Сыктывкар: Геопринт, 2013, – С. 147-149.

7.Файзиев, А.Р. История освоения и изучения благородной шпинели Кухилал (Юго-Западный Памир)/ А.Р. Файзиев, **С.А. Эльназаров** // Материалы междунар. конференции «Памир: актуальные проблемы и научно-техническое развитие». Хорог, 2014, –С. 42-49.

8.**Эльназаров, С.А.** Минералогические особенности и геммологическая свойство ювелирного форстерита из месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир)/ С.А. Эльназаров // Материалы международной конференции «Памир: актуальные проблемы и научно-техническое развитие»./ Хорог, – 2014. –С. 49-53.

9.Файзиев, А.Р. Благородная шпинель Кухилала. / А.Р. Файзиев, **С.А. Эльназаров** //«ИМПУЛЬС» Издание Центра поддержки гражданского общества, «Калам» , №23 (200), сентябрь 2014. –С. 7.